

АНАЛИЗ МЕТОДОВ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СЛАБЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ МОЩНЫХ ПОМЕХ

Будылдина Н.В., Трухин М.П.

Институт радиоэлектроники и информационных технологий

Уральский федеральный университет им. Б.Н.Ельцина

Ул. Мира, 32, г. Екатеринбург, 620002, Россия

тел.: 8-903-079-75-66, e-mail: mptru@mail.ru

Аннотация — Средствами системы MATLAB разработана компьютерная модель адаптивного фильтра для выделения слабых низкочастотных сигналов на фоне мощных низкочастотных помех и с её помощью получены потенциальные и реальные характеристики адаптивной фильтрации.

THE ANALYSIS OF METHODS OF THE ADAPTIVE FILTRATION WEAK SIGNALS ON THE BACKGROUND OF POWERFUL HANDICAPES

Budyldina N.V., Trukhin M.P.

Institute of radio electronics and information technologies

The Ural Federal University it B.N.Eltsin

32, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia

Ph.: 8-903-079-75-66, e-mail: mptru@mail.ru

Abstract — The system facility MATLAB is designed computer model of the adaptive filter for separation weak signals of the low frequency on background powerful hindrances of the low frequency and with her help are received features to adaptive filtering.

I. Введение

Выделению и оцениванию слабых сигналов на фоне мощных помех посвящено большое число монографий [1,2]. В настоящей работе проводился анализ методов адаптивной фильтрации с использованием системы MATLAB.

Обобщенная структура адаптивного фильтра представлена на рис. 1. Фильтр имеет два входа и два выхода. На опорный вход $d(k)$ фильтра подаётся мощный процесс (назовём его процессом генератора)

$$U_g(t) = U_0[1 + M_\alpha \alpha(t) + m_\alpha n_\alpha(t)] \cos(\omega_0 t + m_\alpha \varphi_\alpha(t) + m_\varphi n_\varphi(t) + \varphi_0) + n_{pg}(t), \quad (1)$$

где U_0 — амплитуда несущего колебания; M_α — коэффициент амплитудной модуляции помехи $\alpha(t)$; m_α — коэффициент амплитудной модуляции нормального белого шума $n_\alpha(t)$; ω_0 — частота несущего колебания; m_α — индекс угловой модуляции помехи $\varphi_\alpha(t)$; m_φ — коэффициент амплитудной модуляции нормального белого шума $n_\varphi(t)$; φ_0 — начальная фаза, которая может быть локально постоянной (настраиваемой). Поскольку фильтр дискретный, то этот процесс, как и все рассматриваемые в работе процессы и сигналы, также дискретный (шумы квантования отсутствуют).

Амплитудная составляющая помехи $\alpha(t)$ моделируется марковским случайным процессом первого порядка с коэффициентом корреляции R_1 , его фазовая составляющая $\varphi_\alpha(t)$ — также марковская модель первого порядка с коэффициентом корреляции r_1 . В дальнейшем предполагается рассмотреть другие модели помехового процесса, в частности, гармоническое колебание и бинарную кодированную последовательность. На второй (информационный) вход $x(k)$ адаптивного фильтра поступает дискретный временной процесс, имеющий в своём составе амплитудную и фазовой составляющие

полезного сигнала с малыми коэффициентами модуляции:

$$U_m(t) = U_{m0}[1 + M_\alpha \alpha(t - \tau_1) + M_\lambda \lambda(t) + m n_\alpha(t - \tau_1)] \cos(\omega_0(t - \tau_1) + m_\alpha \varphi_\alpha(t - \tau_1) + m_\lambda \varphi_\lambda(t) + m_\varphi n_\varphi(t - \tau_1) + \varphi_0) + n_{pm}(t), \quad (2)$$

где U_{m0} — амплитуда несущего колебания; M_λ — коэффициент амплитудной модуляции полезного сигнала $\lambda(t)$; m_λ — индекс угловой модуляции помехи полезного сигнала $\lambda(t)$; $\tau_1 = L_{gm}/c$ — задержка, L_{gm} — априори неизвестное расстояние; $n_{pm}(t)$ — аддитивный белый шум приёмника.

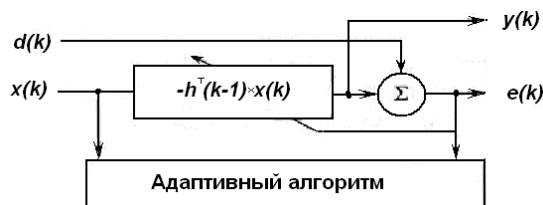


Рис. 1. Структура и функциональные связи адаптивного фильтра

Таблица 1
Варианты процедур адаптивной фильтрации

№ п п	Информационный процесс	Опорный процесс	Уровень подавления, дБ
1	$ U_g(t) \times U_m(t) $	$ U_g(t) $	25.27
2	$U_{gm}(t) \times U_{mm}(t)$	$U_{gm}(t)$	25.93
3	$U_{mm}(t)$	$U_{gm}(t)$	39.26
4	$\log(U_g(t) \times U_m(t))$	$\log(U_g(t))$	44.38
5	$U_{gm}(t) + U_{mm}(t)$	$U_{gm}(t)$	45.10
6	$ U_g(t) \times U_m(t) $	$U_g(t) \times U_m(t)$	45.72

Другим вариантом построения процедуры адаптивной фильтрации является подача на

соответствующие входы фильтра только амплитудных или только фазовых составляющих процессов (1) и (2). В табл. 1 приведены шесть комбинаций подачи процессов на входы адаптивного фильтра, при этом использованы отдельно их амплитудные составляющие $U_{gm}(t)$ и $U_{mm}(t)$ и модули комплексных представлений процессов $|U_g|$ и $|U_m|$. Фазовая фильтрация в работе не рассматривается.

II. Основная часть

Анализ произведения амплитудных составляющих $U_{gm}(t) \times U_{mm}(t)$ показывает, что в его составе содержатся квадраты амплитудных составляющих помехового и информационного процессов. При нулевой задержке ($\tau = 0$) первое слагаемое просто равно квадрату амплитудной составляющей процесса генератора. Остальные слагаемые в выражении $U_{gm}(t) \times U_{mm}(t)$ связаны с полезным сигналом (кроме аддитивного шума $n_{pm}(t)$):

$$U_{gm}(t)U_{gm}(t) + M_\lambda\lambda(t - \tau_2) + [1 + M_\alpha\alpha(t - \tau_1) + m_a n_a(t)] + n_{mm}(t) = \Delta U_g(t, \tau) + M_\lambda\lambda(t - \tau_2) \times U_{gm}(t) + n_{mm}(t) = \Delta U_g(t, \tau) + E(t, \tau_2) + n_{mm}(t), \quad (3)$$

где $\Delta U_g(t, \tau) = U_{gm}(t)U_{gm}(t - \tau_2)$ – паразитная составляющая в принимаемом процессе, которая должна быть скомпенсирована адаптивным фильтром при подаче на его опорный вход квадрата амплитудной составляющей помехового процесса;

$$E(t, \tau_2) = M_\lambda\lambda(t - \tau_2) U_{gm}(t) = M_\lambda\lambda(t - \tau_2)[1 + M_S S(t) + m_a n_a(t)] \quad (4)$$

– произведение полезной составляющей на незадержанную амплитудную составляющую процесса генератора, которое должно быть выделено адаптивным фильтром. В составе выражения (4) кроме искомого полезного сигнала $M_\lambda\lambda(t - \tau_2)$ имеются два дополнительных (мешающих) слагаемых $M_\lambda\lambda(t - \tau_2)M_\alpha\alpha(t - \tau_1) + M_\lambda\lambda(t - \tau_2)m_a n_a(t)$,

последнее из которых можно отбросить по причине его взаимной независимости с полезным сигналом. Именно слагаемое $M_\lambda\lambda(t - \tau_2)M_\alpha\alpha(t - \tau_1)$ будет мешать статистическому выделению полезного сигнала из-за наличия такого слагаемого в сигнале ошибки адаптивного фильтра:

$$E(t, \tau_1, \tau_2) = M_\lambda\lambda(t - \tau_2) + M_\lambda\lambda(t - \tau_2)M_\alpha\alpha(t - \tau_1). \quad (5)$$

Исходя из приведённых выше соображений в шестой строке табл. 1 представлен вариант подачи на опорный вход квадрата модуля процесса генератора, при котором для тех же параметров моделирования обеспечивается его максимальное подавление. Моделирование показывает, что при степени подавления мешающего процесса в амплитудной составляющей ниже 25-30 дБ невозможно получить достаточно надёжное выделение полезного процесса. Поскольку различие в уровне подавления между первой строкой (опорный процесс – просто модуль процесса генератора) и шестой строкой (опорный процесс – квадрат модуля процесса генератора) достигает 20 дБ, то шестой вариант табл. 1 создаёт наилучшие условия для выделения полезного сигнала.

Кроме вариантов подачи процессов в работе был исследован набор (свыше 25) адаптивных фильтров, имеющихся в составе приложения Filter Design системы MATLAB. Группа фильтров, использующая регрессионный метод наименьших квадратов, показала хорошее качество обработки (рис. 2).

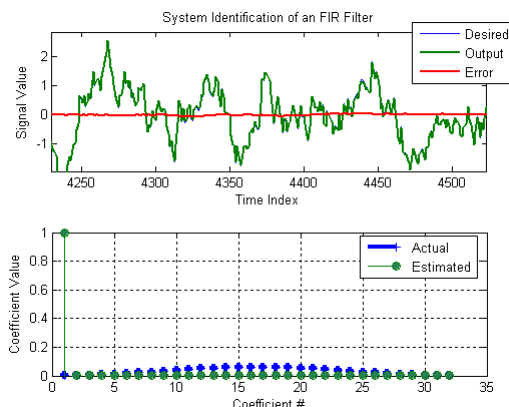


Рис. 2. Результат работы адаптивного фильтра по амплитудным составляющим

Однако наилучшие показатели по критерию максимума взаимной корреляционной функции сигнала ошибки и полезного сигнала обеспечил адаптивный фильтр **adaptfilt.gal** на основе градиентного алгоритма, реализованный в виде лестничной структуры. Число коэффициентов фильтра составляло от 32 до 64. На рис. 3,а, представлен экземпляр временных зависимостей ошибки $e(t)$ и полезного сигнала Sig , относительная взаимная корреляция между которыми составляет 0,85.

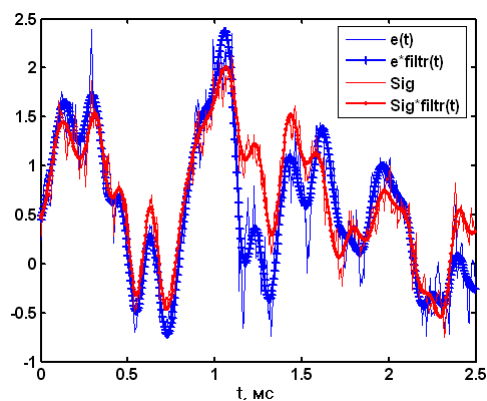


Рис. 3. Сравнение нормированных сигналов ошибки адаптивного фильтра и полезного сигнала

III. Заключение

С помощью статистического моделирования (в отсутствие шумов) определены потенциальные и реальные характеристики выделения полезного сигнала (марковская модель речевого сигнала) в мощном модулированном процессе.

IV. Литература

- [1] Repin V.G., Tartakovskij G.P. Statisticheskij sintez pri apriornoj neopredelonnosti i adaptacija informacionnyh sistem [Statistical synthesis at aprioristic uncertainty and adaptation of information systems]. M.: Sov.radio, 1977. 432 p.
- [2] Tichonow W.I., Mironow M.A.. Markowskie processy [Markows processes] Sov.radio, 1977. 488 p.